유리섬유쉬트로 휨보강한 보의 박리파괴 거동에 대한 비선형FEM 해석

Non-Linear FEM Analysis Study of the Peeling Failure of the RC Beams Strengthened by GFRP

강 인 석* 최 기 선** 유 영 찬*** 김 긍 환**** 이 한 승***** 이 리 형*****
Kang, In Seok Choi, Ki Sun You, Young Chan Kim, Keung Hwan Lee, Han Seung Lee, Li Hyung

ABSTRACT

Flexural test and parametric study by FEM analysis on 6.0m long reinforced concrete beams strengthened by GFRP are reported in these tests. The selected variables are strengthened plate length, plate thickness. The effects of these variables are discussed. The results generally indicate that the flexural strength of strengthened beams is increased.

The results of FEM analysis show that the more strengthening GFRP is the more stress of GFRP is decrease when failure mode is peeling failure.

1. 연구배경 및 목적

철근콘크리트 구조물은 시공된 후 설계강도보다 낮은 강도발현, 건조수축, 진동에 의한 피로, 구조설계 혹은 시공상의 오류, 용도변경으로 인한 하중증가, 구조물의 노후등 여러 가지 요인들로 인하여 균열이 발생 및 변형 누적등으로 인한 강도저하로 이를 보강할 필요성이 발생하게 된다. 기존의 철근콘크리트 구조물의 보강방법으로는 에폭시접착 강판보강법, 탄소섬유쉬트, 아라미드섬유쉬트, 유리섬유쉬트등 여러 가지 보강재를 이용한 보강공법들이 주를 이루고 있다.

이와 같이 여러 가지 필요로 인하여 보강된 철근콘크리트보에 대한 보강효과의 예측은 보강 구조물의 파괴모드가 파단파괴의 경우에 있어서는 보강재의 재료시험등을 통해 얻어진 역학특성을 철근콘크리트 보의 휨강도 계산식에 적용하여 간단하게 구할 수 있다. 하지만 박리파괴의 경우에 있어서는 보강재가 최대 인장강도에 도달하기 전에 콘크리트와 보강재 사이 접착재의 전단파괴(박리파괴) 혹은 단부 하부 콘크리트의 탈락(Rip Off파괴)에 의해 파괴된다. 이러한 박리파괴의 경우 파괴 발생시점에서의 보강재에 작용하는 인장응력을 실험을 통해 파악하여 보강효과를 예측하기란 매우 어렵다.

따라서 본 연구에서는 유리섬유쉬트로 휨보강한 실험체를 제작하여 실험을 수행하고 파괴모드가 박리파괴인 실험체를 대상으로 하여 비선형 FEM법을 이용하여 박리파괴에 대한 표현이 가능한가를 판

* 정회원, (주)토탈인포메이션서비스 수치해석과 과장
** 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 수석연구원, 공학박사
**** 정회원, 한국건설기술연구원 건축연구부 연구위원, 공학박사
***** 정회원, 한양대학교 건축공학부 조교수, 공학박사
****** 정회원, 한양대학교 건축공학부 교수, 공학박사

단하고, 나아가 보강길이, 보강매수등 다양한 변수를 적용한 변수해석연구를 수행하여 각 변수별로 박리파괴시 보강재인 유리섬유쉬트에 작용하는 인장응력의 변화추이를 관찰함으로써 보강효과 예측에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험체 계획

유리섬유쉬트를 보의 밑면에 휨보강을 하고 박리파괴를 방지 혹은 지연시키기 위하여 U자형으로 단부를 감싸 보강하였며, 부착 메카니즘을 분석하기 위하여 보강두께와 부착길이를 변수로 하여 실물크기의 실험체를 제작하였다.

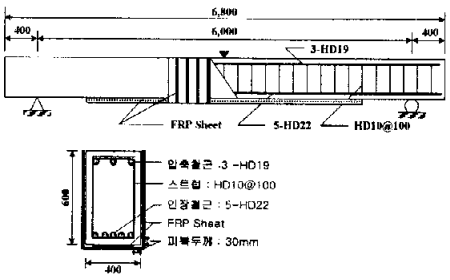


그림 1 실험체의 배근상세

표 1 실험체 일람

실험체명	철근비	보강매수 (매)	보강폭 (cm)	부착길이 (cm)	비고
RS	ρ/ρ_b=0.33	-	-	-	무보강
RG1-UCB1	A's=8.61cm^2	1	30	250	1매
RG2-UCB1	As=19.35cm^2	2	30	500	2매
RG3-UCB2	t_{GF}=0.1cm	3	30	590	3매
	f_{GF}=5,600kgf/cm^2				

2.2 재료시험

실험체 제작에 사용된 콘크리트는 설계압축강도 240kgf/cm2을 기준으로 하고, 레미콘 타설시 Φ100×200 압축강도 시험용 공시체 몰드를 취득하여 재령 7일과 28일에 각각 3개씩 압축강도시험을 실시하여 그 평균값을 구했다.

주근(D19, D20) 및 전단보강(D10)에 사용된 철근은 KS B 0802(금속재료 인장시험방법)에 의하여 인장시험하였다.

보강재로 사용한 유리섬유쉬트는 1방향 섬유쉬트를 사용하였으며, 일본의 JIS K 7073(탄소섬유강화 플라스틱의 인장시험 방법)을 참조하여 상온 20℃에서 7일 양생하여 시험하였다.

표 2 콘크리트 재료물성

품명	압축강도 (kgf/cm^2)	인장강도 (kgf/cm^2)	탄성계수 (kgf/cm^2)
240	375	-	2.91×10^5

표 3 철근의 재료물성

종류	항복강도 (kgf/cm^2)	인장강도 (kgf/cm^2)	탄성계수 (kgf/cm^2)	연신율 (%)
D-10	4,991	6,515	1.79×10^6	18.9
D-19	4,160	5,857	1.92×10^6	22.0
D-22	4,200	6,057	1.65×10^6	18.4

표 4 유리섬유쉬트의 재료물성

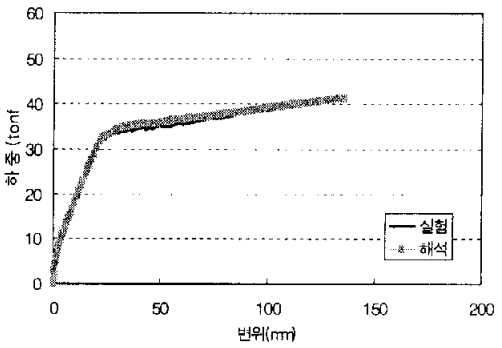
섬유종류		설계두께 (cm)	인장강도(kgf/cm^2)		X-3σn (kgf/cm^2)	탄성계수(kgf/cm^2)		변형도
			규격치	실험치		규격치	실험치	
유리섬유	국외산	0.1000	5,600	6,571	5,772	2.52×10^5	2.95×10^5	0.0187

3. 실험결과 및 고찰

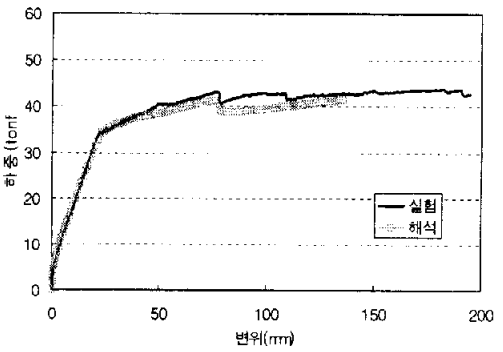
실험결과 무보강실험체를 제외한 휨보강된 실험체의 최종파괴모드는 보강단부의 쉬트박리에 의해 최종파괴되는 박리파괴임을 알 수 있었다. 또한 최대하중에 있어서 이론식에 의한 최대하중은 보강두께에 정비례하여 증가하지만 실제 실험을 통한 보강효과는 보강두께에 비례하여 증가하지 않음을 알 수 있다. 이는 보강된 보강재가 최대강도에 도달하기 전에 박리에 의한 파괴가 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

표 5 실험결과

실험체명	항복하중 (tonf)			박리발생시			최대하중 (tonf)			최종파괴시			파괴형상
	Cal_n	Exp	P_d	ε_f	Cal_n	Cal_u	Cal_e	Exp	ΔP_f	δ	ε_c	ε_f	
RS	25.26	33.14	-	-	26.48	28.21	-	35.17	-	51.52	3,000	-	휨파괴
RG1-UCB1	25.84	34.50	40.44	11,987	32.43	35.39	32.01	43.09	9.95	78.12	-	13,818	쉬트박리
RG2-UCB1	26.40	36.57	42.12	9,153	38.31	40.79	35.48	48.38	15.24	82.78	-	13,237	쉬트박리
RG3-UCB2	26.96	36.80	45.46	10,674	44.09	44.75	40.30	50.20	17.06	68.64	-	14,700	쉬트박리



(a) RS실험체의 하중-변위곡선



(b) RG1-UCB1실험체의 하중-변위곡선

그림 2 각 실험체의 하중-변위곡선 비교

4. 변수해석연구

4.1 해석 모델링 및 사용재료의 비선형성

실험체의 모델링은 그림 3에서 보는 바와 같이 지점조건 및 하중 가력상황을 실제 실험상황과 동일하도록 모델링하였다. 해석에서는 실험체의 대칭성을 고려하여 1/2대칭 모델로 모델링하였다.

콘크리트는 4절점 평면응력요소를 사용하였으며, 철근과 보강재인 유리섬유쉬트는 2절점 탄소성 트러스요소를 사용하였다. 또한 철근과 콘크리트의 미끄러짐 파괴와 유리섬유쉬트와 콘크리트사이의 부착전단파괴를 표현하기 위하여 4절점 본드요소를 사용하였다. 사용한 각 요소의 비선형성은 그림 4에 나타내었다.

4.2 변수해석 결과

부재의 길이와 크기를 일정하게 하고 보강길이 및 보강매수를 변수로하여 변수해석을 수행한 결과를 표 6과 그림 5에 나타내었다. 거의 모든 실험체에서 박리파괴가 발생하는 것을 확인할 수 있었으며 특

히 그림 5에서 보이듯이 같은 보강길이에 대하여 보강매수가 증가할수록 박리파괴시 보강재에 작용하는 인장응력은 점차 작아지는 것을 알수 있다.

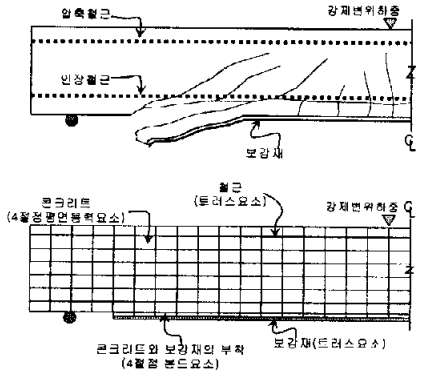


그림 3 실험체의 해석을 위한 모델링

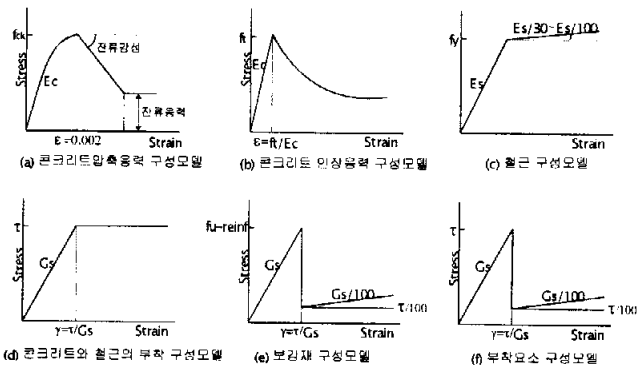


그림 4 사용요소의 재료비선형성

표 6 박리파괴시 유리섬유쉬트의 인장응력

부재사이즈		40cm ×60cm					
L	L/Lp / ply	90%	80%	70%	60%	50%	40%
6M	1	5600	5600	3700	5530	3690	4490
	2	2960	2500	2820	3160	3170	2350
	3	2090	2260	2350	2820	2160	2440
	4	1910	1780	1650	1620	1960	1770
	5	1910	1820	1840	1510	1820	1770
	6	2020	1530	1700	1430	1630	1430

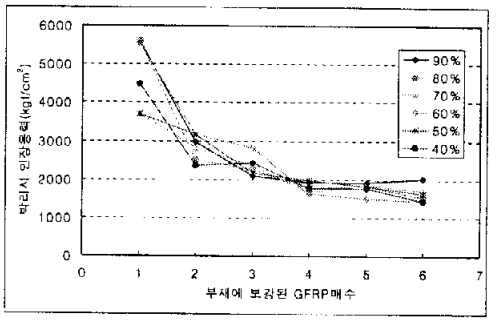


그림 5 각 변수별 인장응력 비교

5. 결론

지금까지의 제한적인 실험 및 해석연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 보강길이가 동일한 조건에서 보강재의 보강매수를 증가시킬 경우 박리파괴시 보강재에 작용하는 인장응력은 점차 작아지는 것을 알 수 있었다.

2) 보강재는 1매에서 3매까지 보강시 감소율이 가장 크며 4매 이상에서는 거의 같거나 약간 감소하는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 허명재, 김홍근, "유리섬유쉬트를 이용한 철근콘크리트보의 보강", 대한건축학회 논문집 제14권 3호, 1998
2. 심종성 외 3인, "GFRP로 보강된 RC보의 휨특성에 관한 실험적 연구" 한국콘크리트학회 봄 학술발표대회 논문집 1998 v.1998, pp.559-565